Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No.1, 2025, p. 93-105

Reduction of Ascites Susceptibility in Broiler Chickens under Cold Stress by Guanidinoacetic Acid Supplementation

Mousa Ezatikia[1], Parviz Farhoomand[2], Sina Payvastegan[3*], Bahram Piruz[4], Negin Delfani[4]

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Graduated, Professor, Assistant Professor and Ph.D. Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively
*Corresponding Author's Email: s.payvastegan@urmia.ac.ir

Received: 13-07-2024 Revised: 03-12-2024 Accepted: 13-01-2025 Available Online: 23-04-2025	**How to cite this article:** Ezatikia, M., Farhoomand, P., Payvastegan, S., Piruz, B., & Delfani, N. (2025). Reduction of ascites susceptibility in broiler chickens under cold stress by guanidinoacetic acid supplementation. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *17*(1), 93-105. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ijasr.2025.88919.1208

Introduction: Arginine, as a precursor of nitric oxide, one of the main vasodilators, plays a significant role in inhibiting the pathogenesis of ascites (Khajali *et al*., 2014). Adding arginine to the diet can increase endothelial nitric oxide synthase activity, subsequently increasing nitric oxide production and reducing hematocrit. By reducing blood viscosity and pulmonary vascular resistance, the right ventricle of the heart will require less force to pump blood to the organs (Delfani *et al*., 2023). One of the most important applications of arginine in the body is its use in the production of guanidinoacetic acid, which is a precursor for creatine synthesis in the body (DeGroot *et al*., 2018). Guanidinoacetic acid is produced during the transfer of the amidino group from the amino acid arginine to the amino acid glycine by the enzyme arginine-glycine amidinotransferase, along with the amino acid ornithine (Kodambashi Emami *et al*., 2017; Asiriwardhana and Bertolo, 2022). Guanidinoacetic acid is the only precursor of creatine in the bodies of vertebrates (Kodambashi Emami *et al*., 2017). Adding guanidinoacetic acid to the diet can conserve arginine by providing creatine, especially in young growing chicks that have a higher need for creatine for rapid muscle growth (Asiriwardhana and Bertolo, 2022). To ensure optimal growth performance and various physiological responses, sufficient amounts of arginine in the diet of birds are essential. However, the level of arginine required for optimal growth is not sufficient for the activity of macrophages and the pulmonary vascular epithelium to produce maximum nitric oxide (Khajali and Wideman, 2010). Despite the beneficial effects of arginine in reducing the incidence of pulmonary hypertension syndrome (Khajali and Wideman, 2010), arginine supplementation in the diet is costly. Using an alternative compound such as guanidinoacetic acid, due to its diverse effects and lower cost compared to creatine and arginine, is more desirable in the diet of broilers (Khajali and Lemme, 2020). Therefore, the aim of this study is to investigate the effects of replacing different levels of guanidinoacetic acid with arginine on performance, carcass characteristics, susceptibility to ascites, and some blood parameters of broilers reared under cold stress conditions.

Materials and Methods: A total of 200 male Ross 308 broiler chicks with an average weight of 42 ± 1.5 g were used. The chicks were individually weighed at 11 days of age and divided into 20 experimental units in such a way that there was no difference in the initial weight of the experimental units. The current study was conducted in a completely randomized design with 4 treatments, 5 replicates, and 10 chicks per replicate. The experimental period started at 12 days of age and lasted until 42 days of age. Body weight gain, feed intake, feed

http://doi.org/10.22067/ijasr.2025.88919.1208

conversion ratio, and ascites-related mortality were measured throughout the entire period (12-42 days of age). On day 42, one chick from each replicate (five chicks from each treatment) was randomly selected and slaughtered. Carcass components including carcass, breast, leg, and internal organs including heart, gizzard, pancreas, proventriculus, bursa, abdominal fat, pancreas, spleen, duodenum, jejunum, and ileum were weighed and their ratios to live weight were calculated. Additionally, after removing the heart, the right ventricle was separated from the septum between the ventricles. After washing, the weight of the right ventricle and total ventricles was measured using a digital scale with an accuracy of 0.001 g to calculate the ascites index. On day 41, blood samples were taken from the wing vein of two chicks per replicate (10 chicks from each treatment). The blood samples were placed in tubes containing the anticoagulant heparin. A portion of the blood samples was centrifuged at 2500 RPM for 10 minutes to separate the plasma for measuring nitric oxide levels, and the remaining samples were sent to the laboratory for analysis of blood characteristics including partial pressure of oxygen, partial pressure of carbon dioxide, pH, hemoglobin concentration, percentage of red blood cells, and red blood cell count. All data were analyzed using the ANOVA option of the general linear model of SAS software. Significant differences between treatment means were determined by Tukey's multiple range test. Differences in means were regarded as significant at $P < 0.05$.

Results and Discussion: The results of this experiment showed that supplementation with 0.5% arginine or 0.18% guanidinoacetic acid significantly improved feed conversion ratio compared to the control group. In addition to its role in preserving arginine and glycine for other metabolic pathways, guanidinoacetic acid plays a crucial role in nitric oxide synthesis and improves energy efficiency through ATP production via the creatine-phosphocreatine shuttle (Khalil *et al*., 2021). Additionally, increasing the level of guanidinoacetic acid supplementation linearly increased breast muscle yield and decreased relative weights of the small intestine, duodenum, and ileum. Khajali and Wideman (2010) stated that increasing arginine availability resulting from adding guanidinoacetic acid to the diet promotes cell proliferation and protein synthesis, which plays an important role in improving carcass traits. Supplementing with 0.18% guanidinoacetic acid also led to reductions in relative heart weight and the ratio of right ventricle weight to total ventricles compared to the control group. Nitric oxide concentration also significantly increased with supplementation of 0.18% guanidinoacetic acid and 0.5% arginine compared to the control group. Arginine is an essential substrate for nitric oxide synthesis produced by endothelial cells lining blood vessels. Nitric oxide acts as a potent vasodilator, expanding smooth muscle cells of blood vessels and regulating or inhibiting the production of vasoconstrictors such as endothelin-1 and serotonin, thereby reducing pulmonary vascular resistance (Khajali *et al*., 2011; Delfani *et al*., 2023). Reduced synthesis and availability of nitric oxide are contributing factors to increased pulmonary hypertension (Fathima *et al*., 2024). Hypoxic vasoconstriction of pulmonary arteries can be alleviated by increasing the synthesis of nitric oxide, which acts as a vasodilator (Khajali *et al*., 2014).

Conclusion: Generally, the results of the current study indicate that guanidinoacetic acid can effectively substitute arginine in the diet of broiler chickens raised under cold stress conditions.

Keywords: Blood gasses, Carcass characteristics, Growth performance, Guanidinoacetic acid, Nitric oxide

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران

Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۰۵-۹۳

کاهش حساسیت به آسیت در جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی با مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک

موسی عزتی کیا[۱]، پرویز فرهومند[۲]، سینا پیوستگان[۳]*، بهرام پیروز[۴]، نگین دلفانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات سطوح مختلف اسید گوانیدینواستیک بر عملکرد، خصوصیات لاشه، اوزان نسبی اندام‌های داخلی و حساسیت به آسیت در جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی، ۲۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس-۳۰۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی به چهار تیمار، پنج تکرار و ۱۰ جوجه در هر تکرار اختصاص یافتند. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- جیره پایه بدون افزودنی به‌عنوان شاهد ۲- جیره شاهد + ۰/۵ درصد آرژنین ۳- جیره شاهد + ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک و ۴- جیره شاهد + ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک بودند. جهت القاء تنش سرمایی، از روز یازدهم تا انتهای آزمایش (۴۲ روزگی) دمای سالن به ۱±۱۶ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد. نتایج این آزمایش نشان داد که مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین یا سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک در مقایسه با گروه شاهد شد. همچنین افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک موجب افزایش خطی بازده عضله سینه و کاهش خطی اوزان نسبی روده باریک، دوازدهه و ایلئوم شد. مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک موجب کاهش وزن نسبی قلب و نسبت وزن بطن راست به مجموع بطن‌ها در مقایسه با گروه شاهد شد. غلظت نیتریک اکسید نیز با مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک و سطح ۰/۵ درصد آرژنین در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی‌دار یافت. همچنین کاهش خطی در تعداد گلبول‌های قرمز و غلظت هموگلوبین نیز به‌دنبال افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اسید گوانیدینواستیک می‌تواند به‌طور مؤثری جایگزین آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی شود.

واژه‌های کلیدی: اسید گوانیدینواستیک، اکسید نیتریک، خصوصیات لاشه، عمکرد رشد، گازهای خون

مقدمه

امروزه با افزایش سرعت رشد، کوتاه شدن دوره پرورش و بهبود راندمان خوراک در جوجه‌های گوشتی، زمینه برای بروز ناهنجاری‌های متابولیکی فراهم شده است. آسیت یکی از مهم‌ترین ناهنجاری متابولیکی می‌باشد که ناشی از افزایش مصرف مواد مغذی است و می‌تواند تا پنج درصد نیز تلفات ایجاد کند (Motallebi *et al.*, 2022). آسیت که به‌عنوان سندروم فشارخون ریوی نیز شناخته می‌شود، در جوجه‌های گوشتی با رشد سریع در سراسر جهان مشاهده شده است. رشد سریع و دمای پایین محیط منجر به افزایش نرخ متابولیسم می‌شود که در نتیجه آن نیاز به اکسیژن بالا می‌رود. ناهماهنگی بین تقاضای اکسیژن و تأمین اکسیژن منجر به کاهش عرضه یا دسترسی اکسیژن به بافت‌های بدن می‌شود (Delfani *et al.*, 2023). دانشیار و همکاران (Daneshyar *et al.*, 2009) نشان دادند که مواجهه با تنش سرمایی، نسبت بطن راست به مجموع بطن‌ها و تلفات ناشی از آسیت را در جوجه‌های گوشتی افزایش می دهد.

آرژنین به‌عنوان پیش‌ساز نیتریک اکسید که (از اصلی‌ترین گشادکننده‌های عروق) نقش مهمی در مهار پاتوژنز عارضه آسیت دارد (Khajali *et al.*, 2014). افزودن ال-آرژنین به جیره می‌تواند باعث افزایش فعالیت نیتریک اکسید سنتاز اندوتلیالی و متعاقباً افزایش تولید نیتریک اکسید و کاهش هماتوکریت شود. با کاهش ویسکوزیته خون

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: s.payvastegan@urmia.ac.ir)

http://doi.org/10.22067/ijasr.2025.88919.1208

و مقاومت عروق ریوی، بطن راست قلب جهت پمپاژ خون به‌سمت اندام‌ها به نیروی کمتری نیاز خواهد داشت (Delfani *et al*., 2023). مکمل‌سازی ۱۰ گرم در کیلوگرم آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی منجر به افزایش غلظت نیتریک اکسید سرم، کاهش هماتوکریت و کاهش نسبت وزن بطن راست به کل بطن شد (Khajali *et al*., 2014).

از مهم‌ترین کاربردهای آرژنین در بدن، استفاده جهت تولید اسید گوانیدینواستیک می‌باشد که پیش‌ساز ساخت کراتین در بدن است (DeGroot *et al*., 2018). اسید گوانیدینواستیک طی انتقال گروه آمیدینو از اسیدآمینه آرژنین به اسیدآمینه گلایسین توسط آنزیم آرژنین–گلایسین آمیدینوترانسفراز به همراه اسیدآمینه اورنیتین ساخته می‌شود (Asiriwardhana Kodambashi Emami *et al*., 2017; and Bertolo, 2022). اسید گوانیدینواستیک تنها پیش‌ساز فوری کراتین در بدن جانوران مهره‌دار می‌باشد (Kodambashi Emami *et al*., 2017). افزودن اسید گوانیدینواستیک به جیره می‌تواند از طریق تأمین کراتین به‌ویژه در جوجه‌های جوان در حال رشد که نیاز بیشتری به کراتین جهت رشد سریع عضلات خود دارند، باعث صرفه‌جویی در مصرف آرژنین شود (Asiriwardhana and Bertolo, 2022). مطالعات نشان داده است که فراهمی کراتین و یا اسید گوانیدینواستیک موجب کاهش نیاز به استفاده از آرژنین در مسیر سنتز کراتین شده و لذا آرژنین می‌تواند در مسیرهای متابولیک دیگر مانند سنتز نیتریک اکسید مورد استفاده قرار گیرد (Khajali and Wideman, 2010; Delfani *et al*., 2023).

برای تضمین عملکرد مطلوب رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیک مختلف، وجود مقادیر کافی آرژنین در جیره پرندگان الزامی است. بااین‌حال، سطح آرژنین مورد نیاز برای رشد مطلوب جهت فعالیت ماکروفاژها و اپیتلیوم عروقی- ریوی جهت تولید حداکثر نیتریک اکسید کافی نیست (Khajali and Wideman, 2010). علی‌رغم اثرات سودمندی که آرژنین بر کاهش بروز سندرم فشارخون ریوی دارد (Khajali and Wideman, 2010)، مکمل‌سازی آرژنین در جیره پرهزینه است و استفاده از ترکیب جایگزین مانند اسید گوانیدینواستیک به‌علت اثرات متنوع و همچنین قیمت پایین‌تر نسبت به کراتین و آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی مطلوب‌تر است (Khajali and Lemme, 2020). لذا هدف از انجام این مطالعه، بررسی اثرات جایگزینی سطوح مختلف اسید گوانیدینواستیک با آرژنین بر عملکرد، خصوصیات لاشه، حساسیت به آسیت و برخی فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت شرایط تنش سرمایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش و جیره‌های آزمایشی

تعداد ۲۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی ۱/۵±۴۲ گرم استفاده شد. جوجه‌ها در سن ۱۱ روزگی به‌صورت انفرادی وزن و بین ۲۰ واحد آزمایشی (با میانگین وزن اولیه یکسان) تقسیم شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار، پنج تکرار و ۱۰ جوجه در هر تکرار انجام شد. دوره آزمایشی از ۱۲ روزگی آغاز و تا سن ۴۲ روزگی به طول انجامید. در طول دوره پرورش، جوجه‌ها به آب و خوراک به‌صورت آزاد دسترسی داشتند. برنامه نوردهی به‌صورت ۲۳ ساعت روشنایی و یک ساعت تاریکی اعمال شد. دمای سالن در هنگام ورود جوجه‌ها به سالن ۳۲-۳۱ درجه سانتی‌گراد بود. جهت القاء تنش سرمایی، از روز یازدهم تا انتهای آزمایش (۴۲ روزگی) دمای سالن به ۱±۱۶ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و حفظ شد. جیره‌های آزمایشی عبارت بودند از: ۱- جیره پایه بدون افزودنی به‌عنوان شاهد ۲- جیره شاهد به همراه ۰/۵ درصد آرژنین ۳- جیره شاهد به همراه ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک ۴- جیره شاهد به همراه ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت – کنجاله سویا و توسط نرم‌افزار جیره‌نویسی WUFFDA براساس اسیدآمینه قابل هضم تنظیم شدند. مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ نشان داده شده است. مکمل اسید گوانیدینواستیک مورد استفاده در این آزمایش از شرکت ایوانیک دگوسا ایران تهیه شد. آرژنین مورد استفاده در این آزمایش نیز ساخت شرکت مرک و با درصد خلوص ۹۹ درصد بود.

صفات مورد بررسی

در طول دوره ۴۲ روزه آزمایش، جوجه‌ها در سنین ۱۱ و ۴۲ روزگی پس از چهار ساعت گرسنگی (جهت حذف خطای ناشی از پر بودن دستگاه گوارش) و خوراک مصرفی مربوط به هر پن به‌صورت گروهی توزین شدند. طی دوره پرورش، تلفات کالبدشکافی شده و تلفات ناشی از آسیت مورد بررسی قرار گرفتند. تلفات ناشی از آسیت با تجمع مایعات در آبشامه قلب و حفره شکمی و همچنین نسبت بطن راست به مجموع بطن‌ها بالاتر از ۰/۲۵ تعیین شد (Varmaghany *et al*., 2015; Kodambashi Emami *et al*., 2017). افزایش وزن بدن، خوراک مصرفی، ضریب تبدیل خوراک و تلفات ناشی از آسیت در کل دوره (۴۲-۱۱ روزگی) اندازه‌گیری شد. شاخص کارآیی تولید اروپایی نیز مطابق معادله ذکرشده محاسبه شد: شاخص کارآیی تولید= (درصد زنده‌مانی × میانگین وزن (کیلوگرم))/(ضریب تبدیل غذایی × تعداد روزهای پرورش)× ۱۰۰. در سن ۴۲ روزگی (روز ۳۱ آزمایش) از

هر تکرار یک جوجه (پنج جوجه از هر تیمار) به‌طور تصادفی انتخاب و کشتار شد و اجزای لاشه شامل لاشه آماده طبخ، سینه، ران و اندام‌ها شامل قلب، سنگدان، پانکراس، پیش‌معده، بورس فابریسیوس، چربی حفره شکمی، پانکراس، طحال، دئودنوم، ژژنوم و ایلئوم توزین و نسبت به وزن زنده محاسبه شد. همچنین پس از جدا کردن عروق بزرگ، دهلیزها و چربی‌های اطراف قلب، بطن راست از محل اتصال به دیواره بین دو بطن جدا و پس از شستوشوی با آب معمولی، جهت محاسبه شاخص آسیت، وزن بطن راست و کل بطن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

در روز ۴۱، خون‌گیری از ورید بال از دو جوجه در هر تکرار (۱۰ جوجه از هر تیمار) انجام گرفت. نمونه‌های خون درون لوله حاوی ماده ضدانعقاد هپارین ریخته و بخشی از نمونه‌های خون گرفته‌شده جهت جداسازی پلاسما خون به‌منظور اندازه‌گیری میزان نیتریک اکسید در ۲۵۰۰ RPM به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شدند و مابقی جهت بررسی خصوصیات خون شامل فشار جزئی اکسیژن، فشار جزئی دی‌اکسید کربن، pH، غلظت هموگلوبین، درصد گلبول‌های قرمز در خون و تعداد گلبول‌های قرمز به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت پلاسمایی نیتریک اکسید به‌وسیله دستگاه الایزا مطابق با دستورالعمل ارائه‌شده کیت تشخیصی تجاری اندازه‌گیری شد (NatrixTM, West Azerbaijan, Iran). فراسنجه‌های مربوط به گازهای خون (فشار جزئی اکسیژن، فشار جزئی دی‌اکسید کربن، غلظت دی‌اکسید کربن، غلظت بی‌کربنات، pH) نیز توسط دستگاه ارزیابی‌کننده خون اندازه‌گیری شد (Nova Biomedical Blood Gas Analyzer, Phox Plus Diamond Daignostics Inc, USA). اندازه‌گیری غلظت هموگلوبین نیز به‌روش رنگ‌سنجی (سیانومت هموگلوبین) با استفاده از کیت زیست‌شیمی انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری درصد گلبول‌های قرمز در خون، لوله‌های موئین حاوی خون با سه تکرار برای هر پرنده به‌مدت سه دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و سپس با استفاده از خط‌کش مخصوص، درصد گلبول‌های قرمز در خون تعیین شد. تعداد گلبول‌های قرمز نیز با استفاده از لام هماسیتومتر شمارش و در نهایت به صورت ضریبی از 10^6 در هر میکرولیتر خون بیان شد.

آنالیز آماری

فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها و باقیمانده داده‌ها توسط رویه UNIVARIATE نرم‌افزار SAA بررسی شد. همچنین با استفاده از آزمون‌های بارتلت، لوین، براون–فوریست و اوبرین (رویه GLM و امکان HOVTEST در فرمان MEANS) یکنواختی واریانس‌های داخل گروهی نیز مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های تلفات آسیت که از توزیع نرمال انحراف داشتند، با تبدیل داده لگاریتمی نرمال شدند.

کلیه داده‌های حاصل از این آزمایش بر پایه طرح کاملاً تصادفی توسط رویه GLM نرم‌افزار SAS آنالیز و مقایسه میانگین‌ها برای هریک از صفات براساس آزمون توکی و در سطح پنج درصد انجام شد. مدل آماری برای داده‌های تک مشاهده به‌صورت زیر بود.

معادله (۱) $$Yij = \mu + T_i + e_{ij}$$

که در آن، Y_{ij}: مقدار صفت مورد نظر، μ: میانگین کل، T_i: اثر سطح i ام اسید گوانیدینواستیک و e_{ij}: اثر خطای آزمایشی یا عوامل ناشناخته در هر مشاهده است. مدل آماری برای داده‌های چند مشاهده‌ای نیز به‌صورت زیر بود.

معادله (۲) $$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

که در آن، Y_{ijk}: مقدار صفت مورد نظر، μ: میانگین کل، Ti: اثر سطح i ام اسید گوانیدینواستیک، e_{ij}: اثر خطای آزمایشی یا عوامل ناشناخته در هر مشاهده و ε_{ijk}: اثر خطای نمونه‌برداری است. به‌علاوه‌برای بررسی روند پاسخ تمام متغیرها به اثر سطوح افزایشی اسید گوانیدینواستیک، مقایسات چندجمله‌ای متعامد توسط رویه GLM نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد

نتایج صفات عملکردی و تلفات ناشی از آسیت طی دوره ۱۲–۴۲ روزگی در جدول ۲ ارائه شده است. مصرف خوراک و افزایش وزن بدن تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند ($P>0/05$)، امّا ضریب تبدیل خوراک با مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین و سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک به‌طور معنی‌داری بهبود یافت ($P<0/05$). شاخص کارآیی تولید اروپایی نیز با مکمل‌سازی آرژنین و اسید گوانیدینواستیک در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافت ($P<0/05$). همچنین مقایسات چندجمله‌ای متعامد نیز نشان‌دهنده کاهش خطی ضریب تبدیل خوراک به‌دنبال افزایش سطوح مکمل-سازی اسید گوانیدینواستیک در جیره بود. روند پاسخ در شاخص کارآیی تولید اروپایی به سطوح افزایشی مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک نیز به‌شکل افزایش خطی ($P<0/05$) و درجه دوم ($P<0/01$) بود. در مطالعه حاضر، تلفات آسیت نیز با مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک و ۰/۵ درصد آرژنین در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت ($P<0/01$). آنالیز رگرسیون نیز حاکی از کاهش خطی تلفات آسیت با افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در جیره بود ($P<0/05$).

تنش سرمایی از تنش‌های محیطی بسیار تأثیرگذار در بروز آسیت و کاهش عملکرد در صنعت پرورش جوجه‌های گوشتی می‌باشد (Asiriwardhana and Bertolo, 2022). اثرات مطلوب آرژنین بر بهبود بازده مصرف خوراک در شرایط طبیعی پرورش گزارش شده

است (Brugaletta *et al*., 2023Oliveira *et al*., 2022;). در ارتباط با مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک موافق با نتایج مطالعه حاضر، بونی و همکاران (Boney *et al*., 2020) مشاهده کردند که مکمل‌سازی سطح ۰/۶ گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی طی ۱-۴۲ روزگی شد، ولی افزایش وزن بدن و مصرف خوراک تحت تأثیر افزودن اسید گوانیدینواستیک قرار نگرفتند. بهبود ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی بدون تغییر میزان مصرف خوراک و افزایش وزن بدن به‌دنبال مکمل‌سازی سطوح ۰/۶ و ۱/۲ گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک در مطالعه خلیل و همکاران (Khalil *et al*., 2021) طی ۱-۴۲ روزگی نیز گزارش شده است. در مطالعه شارما و همکاران (Sharma *et al*., 2022) نیز ضریب تبدیل خوراک با مکمل‌سازی سطوح یک و دو گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک کاهش یافت. علاوه‌براینکه اسید گوانیدینواستیک قادر به حفظ آرژنین و گلایسین برای مسیرهای متابولیک دیگر بوده و همچنین نقش مهمی در سنتز نیتریک اسید بر عهده دارد، کارآیی استفاده از انرژی را نیز از طریق تأمین ATP به‌واسطه شاتل کراتین-فسفو کراتین بهبود می‌بخشد که در نهایت موجب به حداکثر شدن عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی می‌شود (Khalil *et al*., 2021). در مطالعه دیگری، بهبود ضریب تبدیل خوراک ایجادشده به‌دنبال مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در جیره جوجه‌های گوشتی را به کاهش کالری مصرفی به‌ازای هر کیلوگرم افزایش وزن بدن و یا لاشه ارتباط دادند (Mousavi *et al*., 2012). هگر و همکاران (Heger *et al*., 2014) نیز مشاهده نمودند که اسید گوانیدینواستیک موجب بهبود کارآیی استفاده از انرژی متابولیسمی ظاهری تصحیح‌شده براساس ازت در جوجه‌های گوشتی می‌شود. با توجه مطالب فوق و کاهش عددی مصرف خوراک در این آزمایش، علت بهبود بازده خوراک با مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک را می‌توان به افزایش کارآیی مصرف خوراک نیز ارتباط داد. شاخص کارآیی تولید اروپایی در مطالعه چنسیز و همکاران (Çenesiz *et al*., 2020) نیز به‌دنبال مکمل‌سازی سطح ۰/۶ گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک در جوجه‌های گوشتی بهبود یافت، که موافق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. ماجدیان و همکاران (Majdeddin *et al*., 2020) نیز افزایش شاخص کارآیی تولید اروپایی را با مکمل‌سازی سطح ۱/۲ گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک در جیره جوجه‌های گوشتی مشاهده نمودند. با توجه به بهبود ضریب تبدیل خوراک به همراه کاهش درصد تلفات ناشی از آسیت در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره مکمل شده با اسید گوانیدینواستیک، افزایش شاخص کارآیی تولید اروپایی نیز قابل انتظار بود. در راستای کاهش تلفات آسیت با مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در مطالعه حاضر، فرجی و همکاران (Faraji *et al*., 2019) نیز نشان دادند که مکمل‌سازی سطح ۰/۱۵ درصد اسید گوانیدینواستیک موجب کاهش تلفات ناشی از آسیت در جوجه‌های گوشتی گردید. همچنین در مطالعه دیگری، دلفانی و همکاران (Delfani *et al*., 2024) نیز گزارش نمودند که مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک موجب کاهش تلفات آسیت در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره بر پایه کنجاله کانولا و پرورش یافته تحت تنش سرمایی گردید. افزایش سطح نیتریک اکسید در پلاسما نقش مهمی در مقابله با انقباض و کاهش مقاومت عضلات صاف عروق ریوی ایفا می‌کند و لذا می‌تواند با کاهش فشار خون ریوی از حساسیت به بروز آسیت بکاهد (Kodambashi Emami *et al*., 2017; Delfani *et al*., 2023).

خصوصیات لاشه، اوزان نسبی اندام‌های داخلی بدن و خصوصیات روده باریک

نتایج مربوط به خصوصیات لاشه، اوزان نسبی اندام‌های داخلی بدن و خصوصیات روده باریک جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. مطابق با نتایج مطالعه حاضر، مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین و سطوح ۰/۰۹ و ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک در جیره بر بازده لاشه، ران و سینه و اوزان نسبی چربی حفره شکمی، سنگدان، پیش‌معده، پانکراس، کبد و بورس اثر معنی‌داری نداشت ($P>0.05$). وزن نسبی طحال به‌دنبال مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین در جیره نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P<0.05$). نتایج آزمایش در ارتباط با خصوصیات روده باریک حاکی از کاهش معنی‌دار وزن نسبی روده باریک ($P<0.01$) و ژژنوم ($P<0.05$) در پرندگان تغذیه‌شده با جیره-های حاوی سطوح ۰/۵ درصد آرژنین یا ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک در مقایسه با گروه شاهد بود. وزن نسبی دئودنوم نیز با مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین نسبت به تیمارهای شاهد و ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک کاهش یافت ($P<0.01$). همچنین مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک نیز موجب کاهش معنی‌دار وزن نسبی دئودنوم در مقایسه با گروه شاهد شد ($P<0.01$). به‌علاوه مکمل‌سازی آرژنین و اسید گوانیدینواستیک موجب کاهش معنی‌دار وزن نسبی ایلئوم شد ($P<0.05$). همچنین نتایج آنالیز رگریسیون نیز بیان‌کننده کاهش خطی اوزان نسبی روده باریک ($P<0.01$)، دئودنوم ($P<0.05$)، ایلئوم ($P<0.05$)، طحال ($P<0.05$)، و افزایش خطی بازده سینه ($P<0.05$) به‌دنبال افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در جیره جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت شرایط تنش سرمایی بود.

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های پایه (٪)

Table 1- Ingredients and chemical composition of basal diets (%)

ماده خوراکی Ingredients	آغازین (۱-۱۰ روزگی) Starter (1-10 d)	رشد (۱۱-۲۴ روزگی) Grower (11-24 d)	پایانی (۲۵-۴۲ روزگی) Finisher (25-42 d)
ذرت Corn	55.75	50.49	62.87
کنجاله سویا (۴۵ درصد پروتئین) Soybean meal (45% CP)	38.89	35.51	30.56
روغن سویا Soybean oil	0.72	1.82	2.07
دی کلسیم فسفات DiCalcium phosphate	2.38	2.13	1.93
کربنات کلسیم Calcium carbonate	0.80	0.74	0.68
مکمل ویتامینه[۱] Vitamin premix	0.25	0.25	0.25
مکمل معدنی[۲] Mineral premix	0.25	0.25	0.25
نمک Salt	0.34	0.34	0.34
ال- لیزین هیدروکلرید L- lysine HCL	0.19	0.13	0.13
دی- ال- متیونین DL- methionine	0.32	0.27	0.24
ال- ترئونین L- threonine	0.12	0.08	0.06
ترکیب مواد مغذی محاسبه‌شده (درصد) Calculated nutrient composition (%)			
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg)	2900	3000	3100
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	22.23	20.81	18.89
کلسیم (درصد) Calcium (%)	0.93	0.84	0.77
فسفر قابل دسترس (درصد) Available phosphorous (%)	0.46	0.42	0.36
آرژنین (درصد) Arginine (%)	1.36	1.27	1.13
لیزین (درصد) Lysine (%)	1.24	1.11	1.00
متیونین + سیستین (درصد) Methionine + cysteine (%)	0.92	0.84	0.78
(میلی اکی والان در کیلوگرم) تعادل الکترولیتی Dietary electrolytes balance (mEq/kg)	233	221	190

[۱] هر کیلوگرم مکمل ویتامینی شامل: ۳۶۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۸۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D_3، ۷/۲ گرم ویتامین E، ۰/۸ گرم ویتامین K، ۰/۷ گرم ویتامین B_1، ۲/۶۴ گرم ویتامین B_2، ۱۱/۸۸ گرم ویتامین B_3، ۳/۹۲ گرم کلسیم پنتونات، ۱/۱۷۶ گرم ویتامین B_6، ۰/۴ گرم ویتامین B_9، ۶ میلی‌گرم ویتامین B_{12} و ۴۰ میلی‌گرم H_2. [۲] هر کیلوگرم مکمل معدنی شامل: ۱۰۰ گرم کولین کلراید، ۳۹/۶۸ گرم منگنز (اکسید)، ۳۳/۸۸ گرم روی، ۲۰ گرم آهن، ۴ گرم مس، ۰/۳۹ گرم ید، ۰/۰۸ گرم سلنیوم.

[1] Every kilogram vitamin supplement containing: vitamin A, 3600000 IU; vitamin D_3, 800000 IU; vitamin K, 0.8 g; vitamin B_1, 0.7 g; vitamin B_2, 2.64 g; D- calcium pantothenate, 3.92 g; vitamin B_6, 1.176 g; vitamin B_9, 0.4 g; vitamin B_{12}, 6 mg; H_2, 40 mg.

[2] Every kilogram mineral supplement containing: choline chloride, 100g; manganese (oxide), 39.68 g; Zinc, 33.88 g; iron, 20 g; copper, 4 g; iodine, 0.396 g and selenium, 0.08 g.

جدول ۲- اثرات جیره‌های آزمایشی بر عملکرد جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی طی ۱۱-۴۲ روزگی

Table 2- The effect of experimental diets on performance in broiler chickens under cold stress during 11-42 d

متغیرها Variables	تیمارها[۱] Treatments[1]				خطای معیار میانگین SEM	سطح احتمال P-value	مقایسه‌های چندجمله‌ای متعامد Orthogonal polynomial contrasts	
	تیمار ۱ T1	تیمار ۲ T2	تیمار ۳ T3	تیمار ۴ T4			اثر خطی Linear	اثر درجه دوم Quadratic
مصرف خوراک (گرم) Feed intake (g)	4350	3849	3936	3952	201.74	0.332	0.204	0.418
افزایش وزن بدن (گرم) Body weight gain (g)	1857	2029	1972	2025	76.37	0.374	0.096	0.708
ضریب تبدیل خوراک Feed conversion ratio	2.34 [a]	1.91 [b]	1.99 [ab]	1.95 [b]	0.088	0.013	0.003	0.136
شاخص کارآیی تولید اروپایی European production efficiency factor	162.11[b]	264.83[a]	290.53[a]	257.21[a]	21.34	0.011	0.013	0.008
تلفات (درصد) Mortality (%)	32.50 [a]	15.00 [b]	25.00 [ab]	17.00 [b]	3.18	0.007	0.010	0.880

[a,b] میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ردیف، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P< ۰/۰۵).

[۱] تیمار ۱: شاهد، تیمار ۲: شاهد + ۰/۵ درصد آرژنین، تیمار ۳: شاهد + ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک و تیمار و ۴: شاهد + ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک.

[a,b] Means within a row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

[1] T1: control, T2: control + 0.5% arginine, T3: control + 0.09% guanidinoacetic acid, and T4: control + 0.18% guanidinoacetic acid.

میچیلس و همکاران (Michiels *et al.*, 2012) در مطالعه‌ای با افزودن سطوح صفر، ۰/۶ و ۱/۲ گرم در کیلوگرم اسید گوانیدینواستیک در جیره‌های بر پایه ذرت-سویا مشاهده کردند که بازده عضله سینه با افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک به شکل خطی افزایش یافت. آل صاحب فصول و همکاران (Ale Saheb Fosoul *et al.*, 2019) نیز افزایش خطی بازده سینه را به دنبال مکمل‌سازی سطوح افزایشی اسید گوانیدینواستیک (صفر، ۰/۶، ۱/۲ و ۱/۸ درصد) در جوجه‌های گوشتی جوان گزارش کردند. دگروت و همکاران (DeGroot *et al.*, 2018) افزایش در نسبت فسفوکراتین و ATP عضله سینه را در پاسخ به مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در سطوح ۰/۰۶ و ۰/۱۲ درصد مشاهده نمودند. مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک احتمالاً می‌تواند منجر به بهبود هموستازی انرژی در سلول‌های عضلانی شود که خود موجب بهبود بازده عضله می‌شود. دلیل دیگر بهبود خطی بازده سینه احتمالاً صرفه‌جویی در مصرف آرژنین به‌واسطه مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک می‌باشد که آرژنین بیشتری برای مسیرهای دیگر مانند سنتز پروتئین در دسترس قرار خواهد داد (Delfani *et al.*, 2023). نقش آرژنین در تحریک مسیر کمپلکس یک راپامایسین هدف پستانداران که موجب افزایش سنتز پروتئین و کاهش تجزیه پروتئین می‌شود، معین شده است (Oliveira *et al.*, 2022). همچنین میچیلس و همکاران (Michiels *et al.*, 2012) گزارش کردند که مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک موجب افزایش غلظت پلاسمایی هورمون رشد شبه انسولین ۱ شد که موجب رشد بهینه ماهیچه‌ها می‌شود. خواجعلی و ویدمن (Khajali and Wideman, 2010) نیز بیان داشتند که افزایش دسترسی به آرژنین ناشی از افزودن اسید گوانیدینواستیک در جیره موجب افزایش تکثیر سلولی و سنتز پروتئین می‌شود که نقش مهمی در بهبود صفات لاشه خواهد داشت. کاهش وزن نسبی روده باریک، دئودنوم و ژژنوم با مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی در مطالعه دلفانی و همکاران (Delfani *et al.*, 2023) نیز گزارش شده است، که آن را به بهبود ظرفیت جذبی و وضعیت ریخت‌شناسی بافت پوششی روده باریک پرندگان تغذیه‌شده با اسید گوانیدینواستیک ارتباط دادند. همچنین تغییرات مشاهده‌شده در اوزان نسبی بخش‌های مختلف روده باریک را می‌توان به اثر صرفه‌جویی اسید گوانیدینواستیک در کاهش نیاز به آرژنین برای سنتز کراتین و در نتیجه افزایش در دسترس بودن آرژنین برای سایر مسیرهای متابولیک نسبت داد. علاوه‌براین، اسید گوانیدینواستیک موجود در جیره با جذب از روده کوچک به کراتین تبدیل می‌شود. گلاور و همکاران (Glover *et al.*, 2013) دریافتند که مکمل کراتین در خوراک به‌واسطه افزایش انرژی سلول‌های بافت پوششی باعث بهبود بازسازی بافت پوششی روده و التهابات مخاطی می‌شود. علاوه‌براین، اسید گوانیدینواستیک می‌تواند تأمین انرژی برای تکثیر سلولی و سنتز پروتئین از طریق سایر متابولیت‌های مرتبط با انرژی مانند فسفوکراتین و ATP را افزایش دهد.

حساسیت به آسیت و تلفات ناشی از آسیت

نتایج مربوط به حساسیت به آسیت شامل وزن نسبی قلب، نسبت وزن بطن راست به مجموع بطن‌ها، غلظت نیتریک اکسید پلاسما، گازهای خون و صفات خون‌شناسی در سن ۴۲ روزگی در جدول ۵ ارائه گردیده است. وزن نسبی قلب با مکمل‌سازی آرژنین و اسید گوانیدینواستیک به‌شکل معنی‌داری در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت (P<۰/۰۵). همچنین نسبت وزن بطن راست به مجموع وزن دو بطن نیز به دنبال مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین یا سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری یافت (P<۰/۰۱). مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین و سطوح ۰/۰۹ و ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک بر فشار جزئی اکسیژن، فشار جزئی دی‌اکسید کربن و pH خون اثر معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). پرندگان تغذیه‌شده با جیره‌های مکمل‌سازی‌شده با سطح ۰/۵ درصد آرژنین و یا ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک از غلظت نیتریک اکسید بالاتری نسبت به گروه شاهد برخوردار بودند (P<۰/۰۱). درصد گلبول‌های قرمز خون، تعداد گلبول‌های قرمز خون و غلظت هموگلوبین تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند (P>۰/۰۵). بااین‌حال، تلفات ناشی از آسیت با مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین و سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (P<۰/۰۱).

همچنین طی انجام آنالیز رگرسیون نیز مشخص شد که با افزایش سطح مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک در جیره جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی، pH خون و غلظت نیتریک اکسید پلاسما به شکل خطی افزایش (P<۰/۰۵)، و وزن نسبی قلب، نسبت وزن بطن راست به مجموع بطن‌ها (P<۰/۰۱)، غلظت هموگلوبین، تعداد گلبول‌های قرمز و تلفات ناشی از آسیت به شکل خطی کاهش یافت (P<۰/۰۵).

جدول ۳- اثرات جیره‌های آزمایشی بر خصوصیات لاشه و اوزان نسبی اندام‌های داخلی (درصدی از وزن بدن) جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی در سن ۴۲ روزگی

Table 3- Effects of experimental diets on carcass characteristics and relative weights of internal organs (percentage of body weight) in broiler chickens under cold stress at 42 days of age

متغیرها Variables	تیمارها[1] Treatments[1]				خطا معیار میانگین SEM	سطح احتمال P-value	مقایسه‌های چندجمله‌ای متعامد Orthogonal polynomial contrasts	
	تیمار۱ T1	تیمار ۲ T2	تیمار ۳ T3	تیمار ۴ T4			اثر خطی Linear	اثر درجه دوم Quadratic
لاشه (٪) Carcass (%)	63.08	64.63	63.94	65.88	1.040	0.315	0.119	0.715
ران (٪) Thigh (%)	18.84	19.88	19.38	20.50	0.809	0.531	0.227	0.799
سینه (٪) Breast	25.45	27.14	26.41	28.96	0.918	0.087	0.035	0.547
چربی شکمی (٪) Abdominal fat	1.32	1.15	1.06	1.21	0.074	0.152	0.219	0.017
سنگدان (٪) Gizzard (%)	1.49	1.46	1.46	1.48	0.103	0.992	0.943	0.801
پیش‌معده (٪) Proventriculus (%)	0.362	0.348	0.352	0.374	0.019	0.754	0.642	0.469
پانکراس (٪) Pancreas (%)	0.228	0.251	0.268	0.219	0.018	0.247	0.749	0.092
کبد (٪) Liver (%)	2.07	2.03	1.98	2.05	0.104	0.943	0.940	0.574
بورس (٪) Bursa of Fa (%)	0.149	0.181	0.169	0.173	0.009	0.114	0.107	0.501
طحال (٪) Spleen (%)	0.090^{a}	0.072^{b}	0.081^{ab}	0.080^{ab}	0.003	0.018	0.044	0.316

a,b میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ردیف، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P< ۰/۰۵).

[1] تیمار ۱: شاهد، تیمار ۲: شاهد + ۰/۵ درصد آرژنین، تیمار ۳: شاهد + ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک و تیمار و ۴: شاهد + ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک.

a,b Means within a row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

[1] T1: control, T2: control + 0.5% arginine, T3: control + 0.09% guanidinoacetic acid, and T4: control + 0.18% guanidinoacetic acid

در راستای نتایج مطالعه حاضر، مشاهده شده است که مکمل-سازی سطوح دو و چهار گرم در کیلوگرم آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی موجب کاهش وزن نسبی قلب، شاخص آسیت و تلفات آسیت و همچنین افزایش غلظت نیتریک اکسید در مقایسه با پرندگان تغذیه‌شده با جیره کم پروتئین شد (Khajali *et al.*, 2014). کدامباشی امامی و همکاران (Kodambashi Emami *et al.*, 2017) در آزمایش دیگری با بررسی اثرات مکمل‌سازی سطوح مختلف آرژنین (صفر، ۰/۸۶ و ۱/۷۲ گرم در کیلوگرم) در جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی و شرایط طبیعی مشاهده کردند که افزودن سطح ۰/۸۶ گرم در کیلوگرم آرژنین موجب کاهش نسبت وزن بطن راست به وزن مجموع بطن‌ها (شاخص آسیت) در مقایسه با گروه شاهد در جوجه‌های پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی شد. به‌علاوه جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره مکمل‌شده با سطح ۰/۸۶ گرم در کیلوگرم آرژنین در مقایسه با گروه شاهد پرورش‌یافته تحت شرایط طبیعی از نسبت وزن بطن راست به وزن مجموع بطن‌ها مشابهی برخوردار بودند. دلفانی و همکاران (Delfani *et al.*, 2023) نیز کاهش شاخص آسیت، تلفات آسیت و افزایش غلظت اکسید نیتریک پلاسمایی را با مکمل‌سازی سطح ۲/۵۷ گرم آرژنین در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره بر پایه کنجاله کانولا و پرورش یافته تحت تنش سرمایی مشاهده نمودند. آرژنین، سوبسترای ضروری برای سنتز نیتریک اکسید می‌باشد که توسط سلول‌های بافت پوششی عروق تولید می‌شود. نیتریک اکسید یک گشادکننده قوی عروق است و با متسع کردن ماهیچه صاف عروق و تنظیم یا مهار تولید منقبض‌کننده‌های عروق مانند اندوتلین ۱ و سروتونین باعث کاهش مقاومت عروق ریوی می‌شود (Khajali *et al.*, 2011; Delfani *et al.*, 2023). کاهش سنتز و فراهمی نیتریک اکسید از عوامل مؤثر در ایجاد افزایش فشارخون ریوی است (Fathima *et al.*, 2024). انقباض ناشی از کم‌اکسیژنی در عروق ریوی را می‌توان با افزایش سنتز نیتریک اکسید برطرف کرد (Khajali *et al.*, 2014).

افزایش غلظت نیتریک اکسید پلاسما با مکمل‌سازی گوانیدینواستیک اسید در مطالعات صورت‌گرفته توسط احمدی پور و همکاران (Ahmadipour *et al.*, 2018)، آل صاحب فصول و همکاران (Ale Saheb Fosoul *et al.*, 2019) و راعی و همکاران (Raei *et al.*, 2020) نیز گزارش شده است. همچنین موافق با نتایج مطالعه حاضر، مکمل‌سازی سطوح ۰/۱۸ درصد گوانیدینواستیک اسید در جیره جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره بر پایه کنجاله‌ی کانولا و پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی موجب کاهش وزن نسبی قلب، شاخص آسیت و افزایش غلظت نیتریک اکسید پلاسمایی در مقایسه با گروه شاهد شد (Delfani *et al.*, 2023). علت افزایش غلظت نیتریک اکسید به‌دنبال مکمل‌سازی اسید گوانیدینواستیک را می‌توان به علت اثر کاهنده اسید گوانیدینواستیک بر مصرف آرژنین جهت سنتز کراتین دانست. چنین فرض می‌شود که اثر کاهنده اسید گوانیدینواستیک بر مصرف آرژنین موجب فراهمی آرژنین جهت سنتز نیتریک اکسید می‌شود. افزایش سنتز نیتریک اکسید موجب کاهش فشار وارده بر بطن راست می‌شود (Kodambashi Emami *et al.*, 2017). با توجه به افزایش غلظت نیتریک اکسید در پرندگان تغذیه‌شده با سطح ۰/۵ درصد آرژنین و ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک در مقایسه با گروه شاهد، کاهش وزن نسبی قلب، وزن بطن راست و شاخص آسیت در مطالعه حاضر را می‌توان به افزایش غلظت نیتریک اکسید ارتباط داد. همچنین ویسکوزیته بالای خون موجب کارکرد بالای بطن راست برای پمپاژ خون ویسکوز از طریق عروق ریوی باریک می‌شود (Dobosz *et al.*, 2005). در مطالعه حاضر، تعداد گلبول‌های قرمز خون و غلظت هموگلوبین به شکل خطی با افزایش سطح گوانیدینواستیک اسید کاهش یافت که دلیلی بر کاهش ویسکوزیته خون است. کاهش تلفات ناشی از آسیت در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره مکمل‌شده با آرژنین نیز احتمالاً به‌دلیل اثر مثبت آرژنین بر سیستم قلبی–عروقی به‌واسطه نقش آن بر فعالیت نیتریک اکسید سنتتاز اندوتلیالی و تولید نیتریک اکسید است. به نظر می‌رسد که اسید گوانیدینواستیک نیز به‌واسطه نقش مؤثر در جبران کمبود آرژنین برای سیستم قلبی–عروقی، از طریق بهبود شاخص‌هایی مانند تولید اکسید نیتریک، کاهش نسبت وزن بطن راست به مجموع بطن‌ها و وزن نسبی قلب موجب کاهش تلفات ناشی از آسیت شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که مکمل‌سازی سطح ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک موجب بهبود ضریب تبدیل، کاهش تلفات آسیت، بهبود بازده عضله سینه و کاهش وزن نسبی روده باریک در جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی شد. نتایج مشابهی نیز با مکمل‌سازی سطح ۰/۵ درصد آرژنین در جوجه-های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی حاصل شد. با توجه به قیمت بالاتر آرژنین در مقایسه با اسید گوانیدینواستیک، جایگزینی اسید گوانیدینواستیک به‌جای آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته تحت تنش سرمایی جهت بهبود بازده خوراک و کاهش تلفات آسیت توصیه می‌گردد.

جدول ٤- اثرات جیره‌های آزمایشی بر اوزان نسبی بخش‌های مختلف روده باریک در جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی در سن ۴۲ روزگی

Table 4- The effects of experimental diets on the relative weights of different sections of the small intestine in 42-day-old broiler chickens under cold stress

متغیرها Variables	تیمارها[۱] Treatments[1]				خطا معیار میانگین SEM	سطح احتمال P-value	مقایسه‌های چندجمله‌ای متعامد Orthogonal polynomial contrasts	
	تیمار۱ T1	تیمار ۲ T2	تیمار ۳ T3	تیمار ۴ T4			اثر خطی Linear	اثر درجه دوم Quadratic
روده باریک (٪) Small intestine (%)	3.65^{a}	2.86^{b}	3.23^{ab}	3.02^{b}	0.128	0.002	0.006	0.557
دوازدهه (٪) Duodenum (%)	0.651^{a}	0.492^{c}	0.584^{ab}	0.557^{cb}	0.022	0.001	0.013	0.506
ژوژنوم (٪) Jejunum (%)	1.67^{a}	1.29^{b}	1.40^{ab}	1.38^{ab}	0.91	0.049	0.057	0.310
ایلئوم (٪) Ileum (%)	1.32^{a}	1.07^{a}	1.25^{a}	1.08^{a}	0.069	0.048	0.043	0.637

[a,b] میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ردیف، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P< ۰/۰۵).

[۱] تیمار ۱: شاهد، تیمار ۲: شاهد + ۰/۵ درصد آرژنین، تیمار ۳: شاهد + ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک و تیمار و ۴: شاهد + ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک.

[a,b] Means within a row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

[1] T1: control, T2: control + 0.5% arginine, T3: control + 0.09% guanidinoacetic acid, and T4: control + 0.18% guanidinoacetic acid

جدول ۵- اثر جیره‌های آزمایشی بر حساسیت به آسیت در جوجه‌های گوشتی تحت تنش سرمایی در سن ۴۲ روزگی

Table 5 – Effect of experimental diets on susceptibility to ascites in broiler chickens under cold stress at 42 days of age

متغیرها Variables	تیمارها[۱] Treatments[1]				خطا معیار میانگین SEM	سطح احتمال P-value	مقایسه‌های چندجمله‌ای متعامد Orthogonal polynomial contrasts	
	تیمار۱ T1	تیمار ۲ T2	تیمار ۳ T3	تیمار ۴ T4			اثر خطی Linear	اثر درجه دوم Quadratic
قلب (٪) Heart (%)	0.633^{a}	0.510^{b}	0.501^{b}	0.482^{b}	0.030	0.011	0.005	0.170
نسبت بطن راست به کل بطن‌ها (٪) RV/TV[2] (%)	28.47^{a}	23.23^{b}	25.47^{ab}	23.43^{b}	0.748	0.001	0.001	0.605
pH	7.26	7.31	7.33	7.36	0.030	0.154	0.030	0.569
فشار جزئی دی‌اکسید کربن (میلی‌متر جیوه) CO_2 (mmHg)	55.60	47.00	53.60	50.80	0.59	0.144	0.208	0.900
فشار جزئی اکسیژن (میلی‌متر جیوه) O_2 (mmHg)	36.20	40.60	36.80	39.60	2.26	0.470	0.273	0.675
نیتریک اکسید (میلی‌مول در لیتر) NO (mmol/L)	26.90^{b}	33.46^{a}	28.00^{ab}	32.00^{a}	1.37	0.070	0.019	0.358
گلبول‌های قرمز خون (٪) Hematocrit (%)	30.40	29.00	30.00	26.40	1.59	0.319	0.111	0.442
تعداد گلبول‌های قرمز (۱۰^۶× میکرولیتر) Red blood cell ($\times 10^6$µl)	3.44	2.93	3.31	2.86	0.181	0.096	0.031	0.295
هموگلوبین (گرم در دسی لیتر) Hemoglobin (g/dL)	12.84	11.52	12.04	11.44	0.362	0.053	1.016	0.821
تلفات آسیت (٪) Ascites mortality (%)	32.50^{a}	15.00^{b}	25.00^{ab}	17.00^{b}	3.18	0.007	0.010	0.880

[a,b] میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ردیف، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P< ۰/۰۵).

[۱] تیمار ۱: شاهد، تیمار ۲: شاهد + ۰/۵ درصد آرژنین، تیمار ۳: شاهد + ۰/۰۹ درصد اسید گوانیدینواستیک و تیمار و ۴: شاهد + ۰/۱۸ درصد اسید گوانیدینواستیک.

[۲] RV/TV: نسبت وزن بطن راست به وزن مجموع بطن‌ها

[a,b] Means within a row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

[1] T1: control, T2: control + 0.5% arginine, T3: control + 0.09% guanidinoacetic acid, and T4: control + 0.18% guanidinoacetic acid

[2] RV/TV: right ventricle to total ventricle ratio

References

1. Ahmadipour, B., Naeini, S. Z., Sharifi, M., & Khajali, F. (2018). Growth performance and right ventricular hypertrophy responses of broiler chickens to guanidinoacetic acid supplementation under hypobaric hypoxia. *The Journal of Poultry Science, 55*(1), 60-64. https://doi.org/10.2141/jpsa.0170044
2. Ale Saheb Fosoul, S. S., Azarfar, A., Gheisari, A., & Khosravinia, H. (2019). Performance and physiological responses of broiler chickens to supplemental guanidinoacetic acid in arginine-deficient diets. *British Poultry Science, 60*(2), 161-168. https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1562156
3. Asiriwardhana, M., & Bertolo, R. F. (2022). Guanidinoacetic acid supplementation: A narrative review of its metabolism and effects in swine and poultry. *Frontiers in Animal Science, 3*, 972868. https://doi.org/10.3389/fanim.2022.972868
4. Boney, J. W., Patterson, P. H., & Solis, F. (2020). The effect of dietary inclusions of guanidinoacetic acid on D1-42 broiler performance and processing yields. *Journal of Applied Poultry Research, 29*(1), 220-228. https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.10.008
5. Brugaletta, G., Zampiga, M., Laghi, L., Indio, V., Oliveri, C., De Cesare, A., & Sirri, F. (2023). Feeding broiler chickens with arginine above recommended levels: Effects on growth performance, metabolism, and intestinal microbiota. *Journal of Animal Science and Biotechnology, 14*(1), 33. https://doi.org/10.1186/s40104-023-00839-y
6. Çenesiz, A. A., Yavaş, İ., Çiftci, İ., Ceylan, N., & Taşkesen, H.O. (2020). Guanidinoacetic acid supplementation is favourable to broiler diets even containing poultry by-product meal. *British Poultry Science, 61*(3), 311-319. https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1720909
7. Daneshyar, M., Kermanshahi, H., & Golian, A. (2009). Changes of biochemical parameters and enzyme activities in broiler chickens with cold-induced ascites. *Poultry Science, 88*(1), 106-110. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00170
8. DeGroot, A. A., Braun, U., & Dilger, R. N. (2018). Efficacy of guanidinoacetic acid on growth and muscle energy metabolism in broiler chicks receiving arginine-deficient diets. *Poultry Science, 97*(3), 890-900. https://doi.org/10.3382/ps/pex378
9. Delfani, N., Daneshyar, M., Farhoomand, P., Alijoo, Y. A., Payvastegan, S., & Najafi, G. (2023). Effects of arginine and guanidinoacetic acid with or without phenylalanine on ascites susceptibility in cold-stressed broilers fed canola meal-based diet. *Journal of Animal Science and Technology, 65*(1), 69. https://doi.org/10.5187/jast.2022.e68
10. Delfani, N., Daneshyar, M., Farhoomand, P., Payvastegan, S., Alijoo, Y. A., & Najafi, G. (2024). Attenuating susceptibility to ascites in cold-stressed broiler chickens fed canola meal-based diets by supplementing arginine or guanidinoacetic acid, either alone or in combination with phenylalanine. *Veterinary Medicine and Science, 10*(6), 1-13. https://doi.org/10.1002/vms3.70011
11. Dobosz, M., Hac, S., Mionskowska, L., Dymecki, D., Dobrowolski, S., & Wajda, Z. (2005). Organ microcirculatory disturbances in experimental acute pancreatitis: A role of nitric oxide. *Physiological Research, 54*(4), 363.
12. Faraji, M., Karimi Dehkordi, S., Zamiani Moghadam, A. K., Ahmadipour, B., & Khajali, F. (2019). Combined effects of guanidinoacetic acid, coenzyme Q10 and taurine on growth performance, gene expression and ascites mortality in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 103*(1), 162-169. https://doi.org/10.1111/jpn.13020
13. Fathima, S., Al Hakeem, W. G., Selvaraj, R. K., & Shanmugasundaram, R. (2024). Beyond protein synthesis: the emerging role of arginine in poultry nutrition and host-microbe interactions. *Frontiers in Physiology, 14*, 1326809. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1326809
14. Glover, L. E., Bowers, B. E., Saeedi, B., Ehrentraut, S. F., Campbell, E. L., Bayless, A. J., Dobrinskikh, E., Kendrick, A. A., Kelly, C. J., Burgess, A. & Miller, L. (2013). Control of creatine metabolism by HIF is an endogenous mechanism of barrier regulation in colitis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 110*(49), 19820-19825. https://doi.org/10.1073/pnas.1302840110
15. Heger, J., Zelenka, J., Machander, V., de la Cruz, C., Lešták, M., & Hampel, D. (2014). Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy content. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 62*(3), 477-485. https://10.11118/actaun201462030477.
16. Khajali, F., & Wideman, R. (2010). Dietary arginine: metabolic, environmental, immunological and physiological interrelationships. *World's Poultry Science Journal, 66*(4), 751-766. https://doi.org/10.1017/S0043933910000711
17. Khajali, F., Lemme, A., & Rademacher-Heilshorn, M. (2020). Guanidinoacetic acid as a feed supplement for poultry. *World's Poultry Science Journal, 76*(2), 270-291. https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1716651
18. Khajali, F., Moghaddam, M. H., & Hassanpour, H. (2014). An L-arginine supplement improves broiler hypertensive response and gut function in broiler chickens reared at high altitude. *International Journal of Biometeorology, 58*, 1175-1179. https://doi.org/10.1007/s00484-013-0710-7

19. Khajali, F., Tahmasebi, M., Hassanpour, H., Akbari, M. R., Qujeq, D., & Wideman, R. F. (2011). Effects of supplementation of canola meal-based diets with arginine on performance, plasma nitric oxide, and carcass characteristics of broiler chickens grown at high altitude. *Poultry Science, 90*(10), 2287-2294. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01618
20. Khalil, S., Saenbungkhor, N., Kesnava, K., Sivapirunthep, P., Sitthigripong, R., Jumanee, S., & Chaosap, C. (2021). Effects of guanidinoacetic acid supplementation on productive performance, pectoral myopathies, and meat quality of broiler chickens. *Animals, 11*(11), 3180. https://doi.org/10.3390/ani11113180
21. Kodambashi Emami, N., Golian, A., Rhoads, D. D., & Danesh Mesgaran, M. (2017). Interactive effects of temperature and dietary supplementation of arginine or guanidinoacetic acid on nutritional and physiological responses in male broiler chickens. *British Poultry Science, 58*(1), 87-94. https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1257779
22. Majdeddin, M., Braun, U., Lemme, A., Golian, A., Kermanshahi, H., De Smet, S., & Michiels, J. (2020). Guanidinoacetic acid supplementation improves feed conversion in broilers subjected to heat stress associated with muscle creatine loading and arginine sparing. *Poultry Science, 99*(9), 4442-4453. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.023
23. Michiels, J., Maertens, L., Buyse, J., Lemme, A., Rademacher, M., Dierick, N. A., & De Smet, S. (2012). Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. *Poultry Science, 91*(2), 402-412. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01585
24. Motallebi, A. A., Shahir, M. H., & Nemati, M. H. (2022). Effect of ethanolic extracts of olive leaf, garlic and roselle on performance, blood parameters and immune response of broilers under ascites induction conditions. *Research on Animal Production*, *13*(36), 19-26 (In Persian). https://doi.org/10.52547/rap.13.36.19
25. Mousavi, S. N., Afsar, A., & Lotfollahian, H. (2013). Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. *Journal of Applied Poultry Research*, *22*(1), 47-54. https://doi.org/10.3382/japr.2012-00575
26. Oliveira, C. H., Dias, K. M., Bernardes, R. D., Diana, T. F., Rodrigueiro, R. J., Calderano, A. A., & Albino, L. F. (2022). The effects of arginine supplementation through different ratios of arginine: lysine on performance, skin quality and creatine levels of broiler chickens fed diets reduced in protein content. *Poultry Science*, *101*(11), 102148. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102148
27. Raei, A., Karimi, A., & Sadeghi, A. (2020). Performance, antioxidant status, nutrient retention and serum profile responses of laying Japanese quails to increasing addition levels of dietary guanidinoacetic acid. *Italian Journal of Animal Science, 19*(1), 75-85. https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1698325
28. Sharma, N. K., Cadogan, D. J., Chrystal, P. V., McGilchrist, P., Wilkinson, S. J., Inhuber, V., & Moss, A. F. (2022). Guanidinoacetic acid as a partial replacement to arginine with or without betaine in broilers offered moderately low crude protein diets. *Poultry Science*, *101*(4), 101692. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101692
29. Varmaghany, S., Torshizi, M. A. K., Rahimi, S., Lotfollahian, H., & Hassanzadeh, M. (2015). The effects of increasing levels of dietary garlic bulb on growth performance, systolic blood pressure, hematology, and ascites syndrome in broiler chickens. *Poultry Science, 94*(8), 1812-1820. https://doi.org/10.3382/ps/pev148